نوع مقاله: پژوهشی
دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۹
پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۰۲
صفحات: ۴۱-۲۳
10.52547/mmi.1676.14010702

فرایند یادگیری ماشین در اعمال روابط فضایی پلان‌های مسکونی مبتنی بر نمونه و ماتریس هم‌جواری

رضا باباخانی* آزاده شاهچراغی** حسین ذبیحی***

چکیده

جهان کنونی به سمت توسعه حضور سخت‌افزاری یا نرم‌افزاری هوش مصنوعی در تمام عرصه‌های شغلی بشر است و معماری نیز از این امر مستثنی نیست. این پژوهش به دنبال ارائه مدلی نظری و عملی از هوش طراحی خودکار است که مسئله یادگیری چیدمان و روابط فضایی را به الگوریتم‌های هوش مصنوعی ارائه کند. هدف این پژوهش ارائه مدل نظری و عملی از طریق تلفیق شیوه‌های مبتنی بر محاسبات، جهت یادگیری ماشین برای اعمال روابط فضایی در پلان‌های مسکونی بر مبنای ضوابط و استانداردهای معماری است. در واقع مسئله این پژوهش یافتن شیوه‌ها و تکنیک‌های دقیق اعمال روابط فضایی بر روی پلان‌های معماری از طریق الگوریتم‌های هوش مصنوعی بر اساس ضوابط معماری است که باید توسط هوش طراحی خودکار در ماشین ادراک و سپس در فرایند طراحی اعمال شود. فرضیه پژوهش نشان می‌دهد که برای رسیدن به این امر نیاز به استفاده از ماتریس‌های هم‌جواری، فرمول‌های محاسباتی و الگوریتم‌های متنوع برای ادراک و تولید روابط فضایی است؛ ازاین‌رو روش پژوهش، تحقیق تبیینی، بررسی و انتقال ایده‌ها و اطلاعات پیچیده مبتنی بر گردآوری داده‌های آن شامل مطالعات کتابخانه‌ای، اسنادی، نمونه‌های آموزشی، محاسبات و فرمول‌های ریاضی است. در واقع روش تبیینی به دنبال ارائه دانش جدید یا توصیف یک فرایند و یا توسعه یک مفهوم است. همان‌گونه که نتایج پژوهش نشان می‌دهد به‌جای شروع تصادفی تولید پلان از طریق الگوریتم‌های تکاملی می‌توان از طریق ترکیب ماتریس‌های هم‌جواری و فرمول‌های محاسباتی با الگوریتم تکاملی، روابط فضایی را در پلان‌های معماری سریع‌تر و دقیق‌تر انجام داد.

کلیدواژگان: هوش مصنوعی، طراحی خودکار، روابط فضایی.

* دکتری معماری، پژوهشگر، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. reza.babakhani@srbiau.ac.ir
** دانشیار، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
*** دانشیار، گروه شهرسازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مقدمه

معمار سنتی درگذشته با قلم‌تراش، قلم معمولی و یا یک مداد و پاک‌کن بر روی الواح سنگی، پوست حیوانات و کاغذهای طبیعی محاسبات ساده‌ای را انجام می‌داد و سپس طراحی می‌کرد. او بدین شکل، آنچه که حاصل تجربه و مشاهدهٔ زیستی‌اش بود و در ذهن داشت را در فرایند طراحی و محاسبه پیاده‌سازی می‌کرد (Baybars,1980:4). اما امروز تجربه زیسته معمار و نیازهای محاسباتی دامنه بسیار وسیعی پیاده کرده است. در واقع این الگو برای زمانی است که هنوز جهان مسائل خود را در یک بعد بسیار ساده پردازش می‌کرد و هنوز داده‌ها، فراداده‌ها و دانش‌های پیچیده با محاسبات بالا نقش چندان مؤثری در تصمیم‌گیری‌های چندبعدی نداشتند (باباخانی و همکاران، ۱۴۰۱: ۵). اما همین توصیف ساده در درون خود محاسبات و فرمول‌های گوناگونی را در برمی‌گرفت. اکنون استفاده از محاسبات و فرمول‌های گوناگون باید الگویی باشد برای ایجاد فرایندی که در آن سیستم‌های طراحی خودکار از طریق روندهای محاسباتی به‌نسبت پرسرعت بتوانند، داده‌ها و فرایندهای معماری را به‌صورت هم‌زمان و چندبعدی در طرح‌ها پیاده‌سازی کنند. درواقع تحلیل انواع اطلاعات متنوعی که باید از ساختار داده‌ها براساس روش‌های داده‌کاوی استخراج شود برای این‌که روابط پیچیده و الگوهای غیرقابل پیش‌بینی که مورد نیاز و بررسی هستند شکل بگیرد (Mitchell,1975: 57)؛ این فرایند از طریق الگوریتم‌های هوش مصنوعی امکان‌پذیر خواهد بود. در حقیقت معمار سنتی درگذشته با کاربست داده‌های ساده و محاسبات بسیار معمولی در پی برطرف‌کردن نیاز جامعه و حل مسئله بوده است.

در واقع هدف معماری در تمام دوره‌های تاریخی حل مسئله است (باباخانی و همکاران، ۱۴۰۱: ۴۷). مسائلی که در دوره‌ای تک‌بعدی و اکنون به چندبعدی تبدیل گردیده است. اما انتقال روش‌های حل این مسئله‌ها به ماشین‌های هوشمند، خود چالشی بسیار پیچیده است(باباخانی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۱۲). مسائلی که باید در ساختارها و فرایندهایی براساس داده‌های چندعاملی حل شوند. برای مثال یکی از مسائل مهم در فرایند طراحی پلان‌ها بحث روابط فضایی و ارائه چیدمان مناسب و متنوع فضاها به همراه بهینه‌سازی انرژی، دید مناسب، حریم خصوصی و غیره در یک طرح معماری است که خود این مسئله در دانش معماری چالش‌های گوناگونی دارد. حال شیوه انتقال یادگیری حل مسائل فوق از جمله مسئله روابط فضایی به ماشین‌ها، خود مسئله‌ای بسیار پیچیده‌تر است. در اینجا منظور از "مسئله" بر اساس تعریف "ادوارد لی ثورندایک"، اگر ارگانیسم چیزی را می‌خواهد؛ اما اقدامات لازم برای به‌دست‌آوردن آن بلافاصله آشکار نیست (Thorndike,1931: 8)، در این زمان نیاز به فرایندی دارد تا یافتن راه‌حل امکان‌پذیر شود. بر همین اساس مسئله یادگیری ماشین در تولید روابط فضایی نیاز به یک فرایندی از ترکیب الگوریتم‌ها، فرمول‌ها و محاسبات انگارشی دارد.

در حقیقت راه‌حل مسئله پیاده‌سازی روابط فضایی و ارائه چیدمان فضاها در ماشین‌ها مبتنی بر یک سیستم تعاملی بسیار اولیه برای طراحی معماری به کمک رایانه‌ها خواهد بود (Newman, 1966: 149)، که نمونه‌های آن در چندین پروژه اخیر با مقیاس‌های مختلف صورت پذیرفته است. در واقع حرکت به سمت پیاده‌سازی روابط فضایی پلان‌ها از طریق ماشین‌ها به کمک مؤلفه‌ها و تکنیک‌های خاص آغاز شده و به نظر می‌رسد تحقیق در مورد سیستم‌های ساختمانی و ساختار داده‌های معماری برای انتقال هوشمندی در فرایند طراحی خودکار به ماشین‌ها، مسیرهای همگرا و به‌هم‌پیوسته‌ای را دنبال خواهدکرد (Mitchell,1975: 59). البته رسیدن به پیاده‌سازی روابط فضایی توسط ماشین‌ها نیاز به ساختارهای داده‌ای با پیچیدگی‌های به‌خصوصی بر اساس زبان‌های برنامه‌نویسی دارد که خوشبختانه زبان‌های سطح بالا با امکانات فراوان و کتابخانه‌هایی که به‌طور فزاینده‌ای قدرتمندتر می‌شوند و برای این منظور مناسب هستند، اکنون در دسترس عموم قرار گرفته‌اند .(Newman et al. 1983)

در واقع گام مهم رویکرد طراحی معماری خودکار مبتنی بر هوشمندی در ماشین‌ها پیاده‌سازی روابط فضایی در پلان‌های پیشنهادی است که بر اساس ساختار زبان برنامه‌نویسی، داده‌های تخصصی و محاسبات ریاضی قابل‌پیاده‌سازی خواهد بود. برای حل مسئلهٔ پیاده‌سازی روابط فضایی ابتدا باید از یک تابع هدف و مجموعه‌ای از محدودیت‌ها استفاده کرد تا تابع هدف که معیار هزینهٔ آن انواع ویژگی‌ها مانند؛ مساحت، طول و عرض و روابط فضایی در پلان‌هاست، برای بهینه‌سازی بهترین چیدمان نقشه طبقات فراهم شود. اگر هر فضا را به شکل یک ماژول مربع و مستطیل تجسم نماییم، بنابراین مبانی هوش طراحی خودکار در ماشین‌ها از محاسبه محدودیت‌های هندسی و اعمال ضوابط ابعاد در میان ماژول‌ها (فضاها) به دست می‌آید و برنامه‌نویسی خطی با اعداد صحیح مختلط (ILP) برای مسئله برنامه‌ریزی چیدمان اقدام می‌کند(Sutanthavibul,1990) . به‌طورکلی، این روش‌ها در مدل‌سازی روابط هندسی (به‌عنوان‌مثال، روابط چپ، راست، بالا و پایین) در میان ماژول‌ها برای طراحی نقشه‌های طبقات، کارآمد، انعطاف‌پذیر و اثربخش هستند (Chen, 2010: 576).

همچنین برنامه‌ریزی برای چیدمان فضاها در طبقات براساس بازخورد شبیه‌سازی‌شده از نمایش رابطه هندسی در میان ماژول‌ها، با یک رویکرد تحلیلی معمولاً رابطه مطلق را بیان می‌کند. در واقع نمایش توپولوژیکی عمیقاً بر عملکرد ماژول‌ها و پیچیدگی فرایند طراحی پلان‌ها بر اساس بازخورد از شبیه‌سازی‌ها تأثیر می‌گذارد. اما به‌طورکلی سه روش معروف برای تولید و ارائه پلان وجود دارد که به ترتیب قانون پولیش نرمال‌شده (Wong, 1986)، تقسیمات درختی (Chang, 2000) و جفت توالی (Murata, 1995) معرفی شده‌اند. این روش‌ها متداول‌ترین حالات را در یادگیری ماشین ارائه می‌کنند.

اما آنچه امروز بر اساس مبانی هوش طراحی خودکار در پیاده‌سازی روابط فضایی پلان طبقات رایج است، استفاده از ساختار و مدول موزاییک‌های مستطیلی یا مربعی‌شکل یا همان ماژول‌هاست که در این سیستم تعداد فضاها برابر با تعداد ماژول‌هایی است که باید در بستر سطح اشغال مجاز زمین قرار گیرند (Balachandran & Koroth ,2011: 3) و شیوه چیدمان و جانمایی این ماژول‌ها بر اساس ضوابط طراحی و روابط فضاها در معماری خواهد بود که باید ماشین بتواند این ارتباطات میان قوانین و فرایند طراحی را درک کند. در واقع اهمیت و ضرورت انجام این پژوهش یافتن شیوه و تکنیکی است که بتواند به طور دقیق روابط فضایی را بر اساس ضوابط و استانداردها توسط هوش طراحی خودکار پیاده‌سازی نماید. چنانچه فرضیه این پژوهش نشان می‌دهد که برای رسیدن به این امر نیاز به استفاده از ماتریس‌های هم‌جواری، فرمول‌های محاسباتی و الگوریتم‌های متنوع برای تولید روابط فضایی است. در واقع در روش‌های قبلی فرایند تقسیمات از طریق الگوریتم‌های تکاملی بر اساس حرکت از یک شروع تصادفی آغاز و در ادامه تلاش می‌شد در نسل‌های بعدی به پاسخ‌های مناسب‌تری (انجام تقسیمات و چیدمان فضاها) رسید؛ یا با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری عمیق بر اساس تصاویر پلان‌های معماری ترسیم شده، فرایند تقسیمات و چیدمان فضاها در جهت تولید پلان جدید به ماشین‌های طراحی خودکار انتقال یابد که هر دو روش دارای نقاط ضعف و قوت‌هایی هستند.

برای نمونه در روش الگوریتم‌های تکاملی که مبتنی بر جهش و حرکت تصادفی ژن‌هاست، الگوریتم برهمین اساس بعد از چندین بار پردازش و جهش در میان نسل‌های مختلف در برخی موارد دچار انحراف می‌شود و همچنین با افزایش تعداد فضاها زمان و خطای پردازش نیز به‌شدت افزایش می‌یابد و یا در الگوریتم‌های یادگیری عمیق، مقیاس تولید پلان بر اساس پیکسل تصاویر پلان‌هاست. همچنین منطق این روش مشاهده نمونه‌های قبلی صرفاً توسط ماشین است که این منطق به‌تنهایی در فرایند طراحی پلان‌های معماری حاکم نیست. بنابراین هدف این پژوهش ارائه مدلی نظری و عملی از طریق تلفیق شیوه‌های مبتنی بر محاسبات، نمونه‌ها و ماتریس هم‌جواری جهت یادگیری ماشین برای اعمال روابط فضایی در پلان‌های مسکونی بر مبنای ضوابط و استانداردهای معماری از طریق فرمول‌های ریاضی است.

پیشینه پژوهش

پژوهشی در زمینه پیاده‌سازی روابط فضایی توسط ماشین‌ها بر اساس جدول ۱ سال ۱۹۷۴ ازسوی "Mitchell" با عنوان نخستین تئوری هم‌نهاد و بهینه‌سازی (Synthesis and optimization) در تولید پلان‌های معماری ارائه شده که در آن به شانزده حالت ممکن قرارگیری مربع و مستطیل‌ها (ماژول‌ها) اشاره شده است (Mitchell,1974). در زمینهٔ اعمال تقسیمات روی یک ساختار مربع و مستطیلی برای تولید پلان "اولرش فلمینگ"، از دانشگاه ییل در سال ۱۹۷۸ توانست به کمک فرمول‌های مختلف و انجام فرایندی از محاسبات و بازنمایی و برش‌های مستطیلی، تقسیمات فضایی را در پلان‌ها ایجاد نماید (Ulrich Flemming,1978: 3). در سال ۱۹۸۵ مجله‌ای با عنوان ساختمان و محیط‌زیست مقاله‌ای از پژوهشگری به نام "J. ROTH" منتشر کرد که در آن به یک مدل توسعه به نام RDP اشاره شده است که بر اساس آن مدل، تولید لایه‌های مختلف روابط فضایی با فرمول‌های محاسباتی امکان‌پذیر می‌شود (ROTH, 1985: 1).

همچنین در زمینهٔ تکنیک‌های تقسیمات مدولار و ایجاد روابط هم‌جواری بر روی این تقسیمات مبتنی بر ساختار درختی با اشکال مربع و مستطیل، پژوهش‌های گوناگونی صورت‌گرفته است. یکی از این پژوهش‌ها که در سال ۲۰۰۳ منتشر شده، مقاله‌ای از "Shen" است که بر اساس فرمول تقریب استرلینگ موفق به انجام تقسیمات بر روی اشکال مربع و مستطیلی شکل با ساختاری شبیه پلان می‌شود. این مقاله در مؤسسه مهندسین برق و الکترونیک (IEEE) در نیوجرسی آمریکا منتشر شده است (Zion Cien Shen,2003: 3).

در سال ۲۰۰۵ محققین گروه معماری و مهندسی دریایی دانشگاه سئول کره جنوبی توانستند بر اساس پژوهشی به کمک الگوریتم‌های بهبودیافته ژنتیک راه‌حل‌هایی را برای ایجاد تقسیمات فضایی طرح‌های تأسیسات چندمنظوره و دیواره‌ها و گذرگاه‌های داخلی کشتی‌ها پیشنهاد کنند. در واقع هدف این پژوهش ایجاد معابر و آسانسورها به‌عنوان یک

جدول ۱. پیشینه پژوهش‌های صورت‌گرفته با الگوریتم‌های تکاملی

پژوهشگر	سال	روش	oF	wD	eD	eW	iD	S	fL	bB	eF	aB	oO	sA
W J Mitchell et al	۱۹۷۴	SO												
Jo and Gero	۱۹۹۶	GA	g					•	•	•				
Schnier and Gero	۱۹۹۷	GA	g											
Bentley	۱۹۹۸	GA	gt						•	•				•
Elezkurtaj and Franck	۱۹۹۹	GA/ES	gt				•	•						•
Michalek	۲۰۰۱	GA+SA/SQP	gthcl				•	•		•				•
Jackson	۲۰۰۲	GP+L-system	g											
Viririakis	۲۰۰۳	GP	gt		•	•	•	•			•			•
Makris	۲۰۰۵	GA	gt					•						•
Homayouni	۲۰۰۷	GA	gt					•	•					•
Banerjee et al	۲۰۰۸	GA	gt											•
Inoue and Takagi	۲۰۰۹	GA+VD	gtls											•
Thakur et al	۲۰۱۰	GA/DA	gts		•		•							•
Flack	۲۰۱۱	GA/GP	gt					•	•	•				•
Reinhard Koenig	۲۰۱۲	AH												
Victor Calixto	۲۰۱۵	GA/GP		•	•			•	•	•				•
Stanislas Chaillou	۲۰۱۹	GAN		•	•			•	•	•				•
RUIZHEN HU	۲۰۲۰	Graph2Plan			•			•	•	•				•
Maciej Nisztuk	۲۰۲۰	GA		•	•			•	•	•				•
Uuganbayar Gankhuyag	۲۰۲۰	Point Clouds		•				•	•					
Hao Zheng	۲۰۲۰	GAN		•	•	•		•	•		•			
Hyunjung Kim	۲۰۲۱	AHP		•	•	•	•	•	•	•				

(نگارندگان)

راهنمای علامت‌های اختصاری در جدول: SO: هم نهاد و بهینه‌سازی GA: الگوریتم ژنتیک- GP: برنامه‌نویسی ژنتیک- ES: استراتژی تکاملی- SA: شبیه‌سازی گرمایش- SQP: برنامه درجه دوم متوالی -L : سیستم لندمیر- VD : نمودار ورنوی- DA: الگوریتم دایجسترا- SHC: الگوریتم تپه نوردی-AH: الگوریتم سلسه‌مراتبی Graph2Plan: پیکسل تو پیکسل- oF: تابع هدف- wD: ابعاد دیوار- eD: در بیرونی- eW: پنجره- iD: در داخلی- S: فضاها- fL: کف طبقات- eF: تجهیزات / مبلمان- bB: محدوده ساختمان- aB: ساختمان‌های مجاور- oO: جهت بازشوها-sA: فضاهای هم‌جوار.

نمودار مجاورت در کوتاه‌ترین مسیر و فاصله بین فضاهای کشتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک بود. در سال ۲۰۰۰ پژوهشی را Christian L. Valenzuela & Pearl " Young " انجام دادند که از طریق الگوریتم ژنتیک نتایج آن رسیدن به یک تقسیمات پیوسته و غیریکنواخت بود (Valenzuela, 2000: 1).

"Fernando Marson & Suraya Raup Mase" در پژوهشی در سال ۲۰۱۰ توانستند با الگوریتم‌های تقسیمات درختی پلان‌هایی را به‌صورت طراحی و تولید لحظه‌ای جهت استفاده در صنعت بازی‌سازی طراحی کنند (Marson & Raupp, 2010: 10).

"Tong Chih Chen & Yao Wen Chang" در سال ۲۰۱۰ با پژوهشی به روش‌های درختی و توالی توانستند تقسیمات فضایی را بر روی ساختار مستطیل‌ها و مربع‌ها ایجاد و از طریق محاسبات مختصات نقطه‌ای این فضاهای ایجاد شده را جانمایی کنند(Chieh & Chang, 2010) . در سال ۲۰۱۴ "Rodrigues" با کمک الگوریتم‌های تکاملی توانست به‌واسطه تقسیمات فضایی در میان قوانین و ابعاد اندازه‌های استاندارد شده در مقررات طراحی، نمونه‌هایی را تولید، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی کند (Rodrigues, 2014: 8). این پژوهش نیز از ساختار مربع و مستطیل‌ها پیروی می‌کرد. همچنین در سال ۲۰۱۵ "Joao Francisco Rodriguez Costa"در دانشگاه پرتغال در پژوهشی توانست به کمک الگوریتمی مدولار با زبان برنامه‌نویسی جاوا نمونه‌هایی از فضاهای معماری را به شکل مربع و مستطیل از پیش‌تولید و بر اساس مدول‌های فضاها کنار یکدیگر قرار داده و پلان طراحی کند (Rodrigues, 2015: 10). همچنین در تحقیقی در سال ۲۰۱۷ "Martin Stacey Rowles" با روش دستور زبان گفتاری و ایجاد شرط‌های متعدد اقدام به برنامه‌ریزی تولید پلان بر روی تقسیمات مربع و مستطیل‌ها می‌کند و تا حدودی موفق به تولید نمونه‌های محدود می‌شود (Stacey, 2017: 2).

در سال ۲۰۱۸ "پدرو ولوسو" و همکارانش بر اساس پژوهشی بر روی نرم‌افزارها و افزونه‌های مختلف معماری توانستند فرایندی را پیشنهاد کنند که بر اساس آن طراحی خودکار به‌صورت محدودی انجام گیرد و هم‌زمان فرایند مدیریت اطلاعات نیز قابل‌اجرا باشد (Velosoa, 2018: 96). تا اینجا مسئله تقسیمات فضایی و انتقال یادگیری نحوه ایجاد روابط فضایی به ماشین‌ها در پژوهش‌های صورت‌گرفته بر اساس الگوریتم‌های تکاملی، فرمول‌های محاسباتی چندحالته و یا الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. اما در سال ۲۰۱۹ مقاله‌ای از "Stanislas Chaillou " از دانشگاه هاروارد منتشر شد که در این پژوهش پیشنهاد شده برای تولید پلان‌های معماری و نحوه یادگیری ماشین از الگوریتم‌های تخاصمی یا GAN استفاده شود.(Chaillou, 2019) . در جدول ۱ پژوهش‌های مختلف به همراه روش‌ها و نتایج آن به‌صورت کامل ارائه شده است.

تمام پژوهش‌های پیشین به سه گروه: قابل‌دسته‌بندی هستند. گروه اول؛ بیشتر تلاش‌هایش معطوف به استفاده از یک رابطه ریاضی مانند تقریب استرلینگ در اعمال روابط فضایی است. گروه دوم که به سمت استفاده از الگوریتم‌های تکاملی سوق پیدا کرده‌است، صرفاً متمرکز بر ترکیب الگوریتم‌ها، مانند ترکیب الگوریتم ژنتیک با برنامه‌نویسی ژنتیک و یا الگوریتم تپه نوردی با برنامه‌نویسی ژنتیک است که در آن‌ها هدف کلی استفاده از الگوریتم‌های تکاملی است. بر اساس نتایج پژوهش‌های پیشین این ترکیب الگوریتم‌ها نتوانسته‌اند بیش از ۸ تا ۱۰ فضا را به‌صورت منظم استخراج کنند و این الگوریتم‌ها در فرایند طراحی دچار جهش‌های مضر شده‌اند. اما مهم‌ترین مسئله این است که این جهش‌ها در ساختار الگوریتم‌های تکاملی است؛ مانند جهش‌های ژنتیکی موجود در طبیعت که گاهی مفید و گاهی مضر هستند و مسئله بعدی در زمان زیادی است که این الگوریتم‌ها برای جستجوی فضای طراحی نیاز دارند.

گروه سوم؛ الگوریتم‌های یادگیری عمیق هستند که در سال‌های اخیر متداول شده است و بر اساس پیکسل تصاویر پلان‌ها و یا قراردادن پیکسل‌های رنگی با مفهوم کاربری خاصی در مجاورت هم فضاهایی به‌عنوان پلان معماری را بر اساس نمونه‌های واقعی شبیه‌سازی می‌کند. اما این روش نیز ایرادهایی دارد؛ همچون عدم وجود مقیاس‌های معماری. واحد سنجش ابعاد پلان‌ها در اینجا بر اساس پیکسل تصاویر است؛ درحالی‌که معماری مقیاس‌های گوناگونی براساس میلی‌متر، سانتی‌متر، مترمربع و حجم مکعب دارد. همچنین امکان بهینه‌سازی مصرف انرژی به‌صورت مستقیم در این تصاویر پلان‌ها وجود ندارد و از طرفی نمی‌توان مباحث و آیین‌نامه‌های مقررات ملی ساختمان‌ها را در این پیکسل‌ها معنا کرد؛ لذا به نظر می‌رسد این روش هم بیشتر برای تولید طرح اولیه یا ایده‌های ابتدایی کاربرد داشته باشد.

اما جنبه نوآوری این پژوهش با سایر تحقیقات در این نکته است که این پژوهش برای ایجاد تقسیمات و روابط فضایی از روش‌های ترکیبی ماتریس هم‌جواری (adjacency matrix)، فرمول‌های محاسباتی (Similarity Matrix)، جای‌گشت (Permutation) و مبتنی بر نمونه (instance based) پیروی می‌کند که مبنایی برای ادامه تحقیق و کاربرد آن در الگوریتم های تکاملی و شبکه‌های عصبی مصنوعی خواهدبود.

روش پژوهش

در این پژوهش از روش تحقیق تبیینی بررسی و انتقال ایده‌ها و اطلاعات پیچیده مبتنی بر گردآوری داده‌های آن شامل مطالعات کتابخانه‌ای و مطالعات اسنادی کتب مقررات ملی مباحث ۴ و ۱۵، نمونه‌های آموزشی از نقشه‌های طراحی و تأیید شده در نظام‌مهندسی تهران و محاسبات و فرمول‌های ریاضی استفاده شده است. در واقع مهم‌ترین هدف از به‌کارگیری روش تبیینی، افزایش درک موضوع و مسئله تحقیق است. در روش تبیینی به دنبال ارائه دانش جدید یا توصیف یک فرایند و یا توسعه یک مفهوم هستیم. مطالعه تبیینی برای به‌دست‌آوردن اطلاعات در مورد ارتباط میان علل و نتایج حاصل از شواهد است. در واقع در این پژوهش هدف اولیه فهم یا درک وضعیت و مکانیزم‌های ارتباط میان متغیرهای مستقل و وابسته است که برای فهم این رابطه نیاز به مطالعات میان‌رشته‌ای (برق، مکانیک، کامپیوتر، معماری کشتی، داده‌کاوی) صورت‌گرفته در سطح جهان باهدف ایجاد فرایند تقسیمات و روابط فضایی در چیدمان ماژول‌ها یا مربع و مستطیل‌هاست.

در واقع گام اول برای ایجاد تقسیمات فضایی به همراه روابط فضایی میان مدول‌های مربع و مستطیل در پلان‌ها، تبدیل فرایند، ضوابط و استانداردها به زبان قابل‌بیان در ماشین‌هاست. این فرایند شامل تبدیل نمونه‌های آموزشی به داده‌های قابل‌فهم در ماشین‌ها خواهد بود؛ یعنی یادگیری هوش طراحی خودکار همانند یک طراح معمار وابسته به مشاهده دقیق نمونه‌های طراحی‌شده به‌همراه مقررات و ضوابط معماری است که به شکل یک سیستم خبره به الگوریتم‌های یادگیری ماشین انتقال داده خواهدشد. همچنین پایه و اساس این انتقال مبتنی بر زبان برنامه‌نویسی و داده‌های عددی به شکل فرمول‌ها و محاسبات ریاضی است. در واقع ابتدا باید نمونه‌هایی از روابط فضایی را بر اساس هم‌جواری‌ها به ماتریس‌های عددی قابل‌فهم برای ماشین‌ها تبدیل و سپس بر اساس شباهت‌سنجی فرایند تشخیص آن‌ها را در ماشین ایجاد کرد. در همین راستا در این پژوهش برای ایجاد و پیش‌بینی تقسیمات فضایی به‌همراه تشابه‌سنجی روابط فضایی از فرمول‌های تقریب استرلینگ، فاصله منهتن، فاصله کسینوسی، فاکتوریل و جای‌گشت استفاده شده است.

از تقریب استرلینگ برای محاسبه و تخمین زدن فاکتوریل‌های بزرگ استفاده شده است. در واقع بر اساس این فرمول می‌توان احتمال و خطای دقیقی را از n تعداد تقسیمات مدولار در مستطیل‌های پلان‌ها ارائه کرد. این تقریب حتی برای مقادیر کوچک‌تر از n نیز مقدار دقیقی را ارائه می‌کند. تقریب استرلینگ بیان می‌کند که برای مقادیر بزرگ n می‌توان از رابطه $n! \approx A(n) = (\frac{n}{e})n \sqrt[n]{2\pi n}$ به منظور محاسبه n! تعداد استفاده کرد.

در واقع هر عدد طبیعی در ریاضیات از حاصل‌ضرب آن عدد در تمام اعداد طبیعی کوچک‌تر از آن بدون صفر به دست می‌آید و این تعداد را با n! یا ان فاکتوریل نمایش می‌دهند که برای شمارش تعداد حالاتی است که می‌تواند مثلاً یک عدد سه‌رقمی از ۱، ۲ و ۳ ساخت؛ به‌طوری که رقمی تکرار نشود. اما برای درک بیشتر باید گفت که اگر فرض کنیم ترکیب فضایی از هم‌جواری فضاهایی با نمایه‌هایی از [A,B,C] داشته باشیم و یک رابطه فضایی را تشکیل دهیم، مثلاً فضاهای A+C+B یک هم‌جواری مجاز تلقی خواهد شد؛ ولی فضاهای، A+A+B غیرمجاز خواهند بود؛ زیرا فضای A دو بار تکرار شده است.

$$n!=n\times(n-1)\times(n-2)\ldots\times2\times1=\prod n\,k$$

جای‌گشت به معنی پیداکردن تمامی روش‌های ممکن برای انجام یک کار است. در واقع جای‌گشت کمک می‌کند تا

جدول ۲. نمایش ان‌فاکتوریل از ترتیب یک تا ۱۰

0	1	1
1	1	1
2	2 x 1! = 2 x 1	2
3	3x2!=3x2	6
4	4x3!=4x6	24
5	5x4!=5x24	120
6	6 x 5! = 6 x 120	720
7	7 x 6! = 7 x 720	5,040
8	8x 7! = 8 x 5040	40,320
9	9 x 8! = 9 x 40320	362,880
10	10 x 9! = 10 x 362880	3,628,800

(نگارندگان)

در مورد همه جزئیات دقیق بود و این جزئیات شامل ترتیب همه آیتم‌ها نیز خواهد بود. برای مثال، انتخاب چند فضا، با نمادهای [A,B,C] از پلان معماری برای انجام چیدمان در یک گروه از فضاهای ۱۰تایی نشان می‌دهد که چگونه جای‌گشت از طریق محاسبات در یک پلان می‌تواند ایجاد شود [P(10,3) =10!/7! =10 × 9 × 8 =720] در اینجا می‌توان برای ۱۰ موجود ۷۲۰ روش چیدمان در نظر گرفت؛ اما در معماری این چیدمان‌ها به همراه ضوابط و مقررات نیز هستند و در نتیجه فاکتورهای اثرگذار باعث می‌شود تعداد این جای‌گشت‌ها محدود و سرعت رسیدن به یک انتخاب بهتر بیشتر شود.

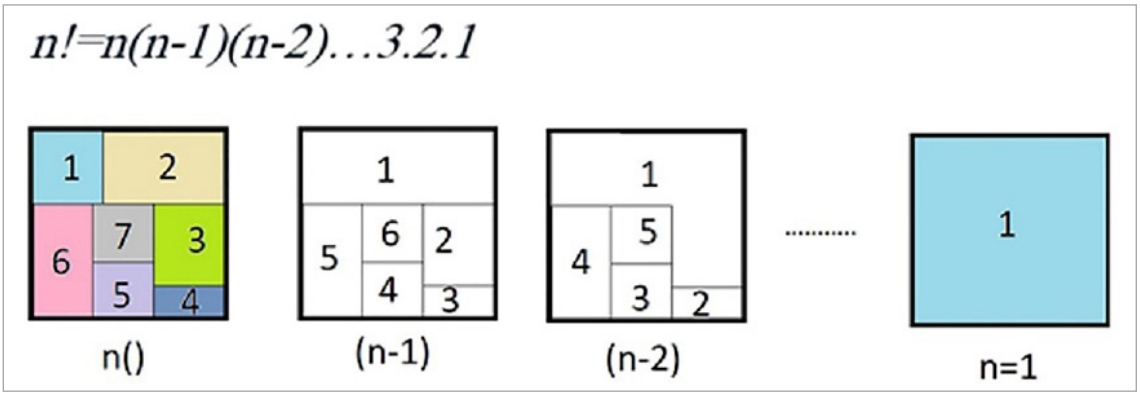
همچنین برای نمایش مشابهت چند شیء از ماتریس مشابهت (Similarity Matrix) استفاده شده است. در مبحث داده‌کاوی، گاهی به ماتریس مشابهت، ماتریس مجاورت (Proximity Matrix) نیز اطلاق می‌شود. معمولاً برای اندازه‌گیری درصد شباهت یا عدم شباهت بین دو سری داده، فاصله آن‌ها بدین روش محاسبه می‌شود.

روش محاسبهٔ معیار شباهتِ کسینوسی که "کالینز" آن را مطرح کرده، معیار شباهت دو بردار از یک فضای ضرب داخلی است که مبتنی بر فاصله یا شباهت کسینوسی است که زاویهٔ بین آن‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. در این روش کسینوس θ ۰ برابر با یک و برای بقیه زاویه‌ها کوچک‌تر از یک است؛ بنابراین، معیار قضاوت جهت دو بردار است نه بزرگی آن‌ها. دو بردار هم‌جهت دارای معیار شباهت کسینوسی برابر یک هستند و دو بردار که دارای جهت معکوس هم هستند، دارای شباهت 1- خواهند بود (فرهادی و جمزاده ۱۳۹۷: ۲۱). معیار شباهت کسینوسی به‌ویژه در فضای مثبت که دارای محدوده [0,1] است، استفاده می‌شود. فاصله کسینوسی دو بردار توسط فرمول ضرب داخلی اقلیدسی به‌صورت رابطه $A.B = ||A||\,||B|| \cos\theta$ به دست می‌آید. حال وقتی با دو بردارِ ویژگی داده‌ها معیار شباهت کسینوسی با استفاده از ضربِ داخلی محاسبه می‌شود، در نتیجه این فرمول

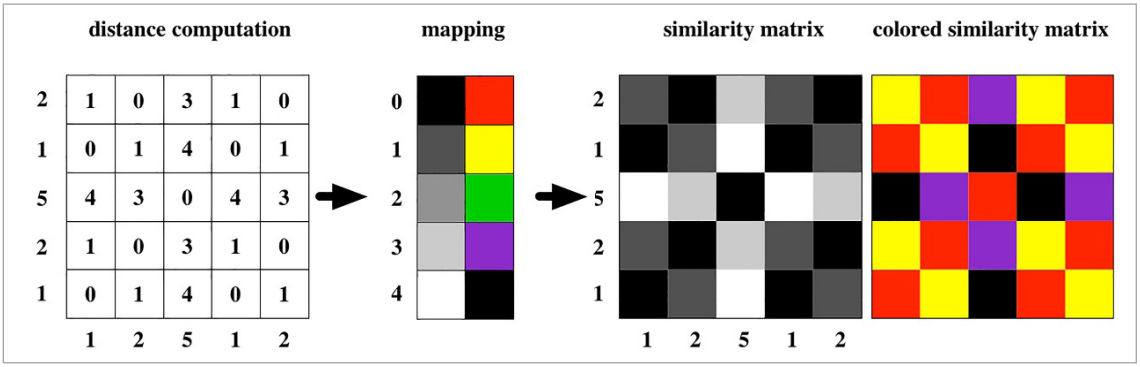
$$\text{similarity} = \cos(\theta) = \frac{A.B}{||A||\,||B||} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i \times B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(A)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(B)^2}}$$

معیار سنجش‌خواهدبود (Garcia,2018,9). از این روش برای سنجش مشابهت بردار یک رابطه فضایی تولیدشده در هوش طراحی خودکار با نمونه‌های آموزش‌دیده استفاده می‌شود تا میزان دقت آن با تابع سنجش و اصلاح خطا ارزیابی شود.

در واقع در اینجا روابط فضاهای مختلف در پلان‌های گوناگون به ماتریس‌های هم‌جواری و سپس به بردارهای



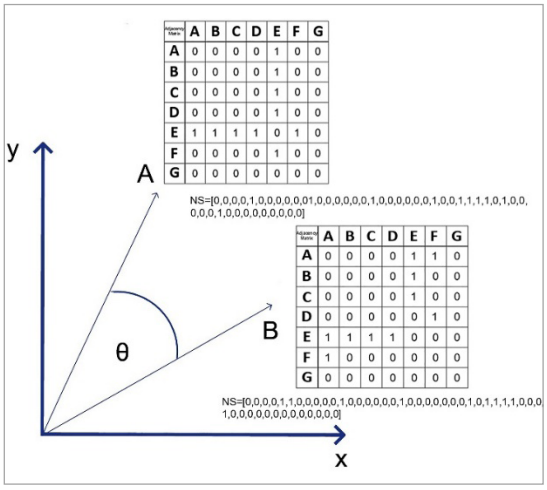
تصویر ۱. فرایند جای‌گشت از یک فضا به سمت شش فضا (نگارندگان)



تصویر ۲. فرایند ماتریس شباهت (نگارندگان)

عددی یکسان تبدیل می‌گردد و این بردارها با کمک سنجش اختلاف زاویه بردارها از یکدیگر محاسبه خواهدشد. تصویر ۳ نشان می‌دهد که ماتریس روابط فضایی که کدهای از [0,1] هستند به بردارهای یکه تبدیل گردیده و سپس در دستگاه مختصات دکارتی از طریق فرمول فاصله کسینوسی تشابه‌سنجی می‌شود. میزان اختلاف زاویه بردارها نشان‌دهنده شباهت و عدم شباهت روابط فضایی دو نمونه پلان خواهد بود و ماشین می‌تواند درصد اختلاف را سنجیده و چیدمان را اصلاح کند.

تصویر۴ نمایش‌دهنده فرایند تحقیق در این پژوهش است. گام اول تحقیق مطالعات کتابخانه‌ای که شامل کتب مقررات ملی مباحث ۴ و ۱۵ در مورد ضوابط طراحی پلان و پله‌های ساختمان‌های مسکونی است. گام دوم مطالعات اسنادی شامل آمارهای بانک مرکزی و وزارت مسکن و شهرسازی در مورد ساخت و سازهای شهر تهران از نظر کمی و متراژهای



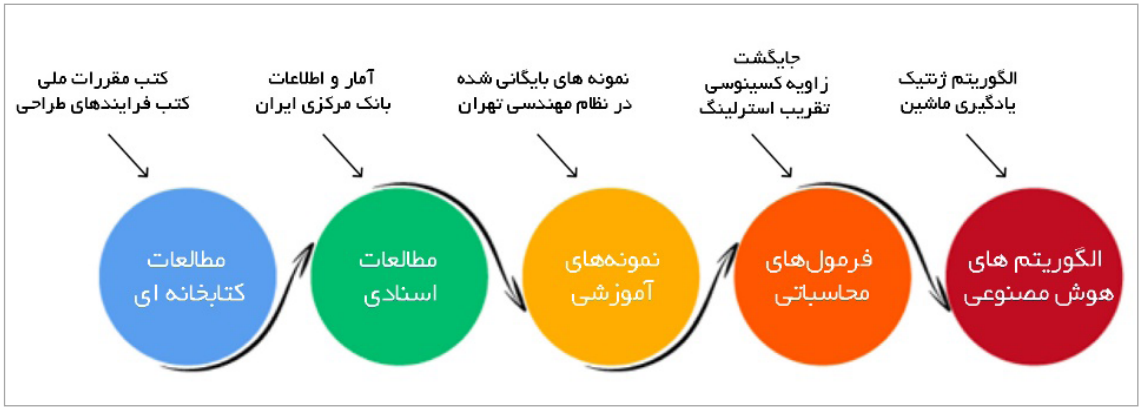
تصویر۳. نمایش تبدیل فرایند ماتریس شباهت به بردار در مختصات دکارتی (نگارندگان)

متداول شهری است. گام سوم نمونه‌های بایگانی‌شده در نظام مهندسی تهران است که توسط کمیته‌های فنی کنترل نقشه‌های اجرایی، تأیید و احداث شده‌اند. گام چهارم استخراج فرمول‌های محاسباتی است تا منطق یادگیری ماشین برای فرایند اعمال تقسیمات و روابط فضایی شکل گیرد. گام نهایی، انتخاب الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای اعمال منطق و ضوابط استخراج در این پژوهش است. همچنین محدودهٔ پژوهش استان تهران، شهر تهران و ساختمان‌های مسکونی ۱ تا ۵ طبقه را شامل می‌شود.

یافته‌ها و بحث

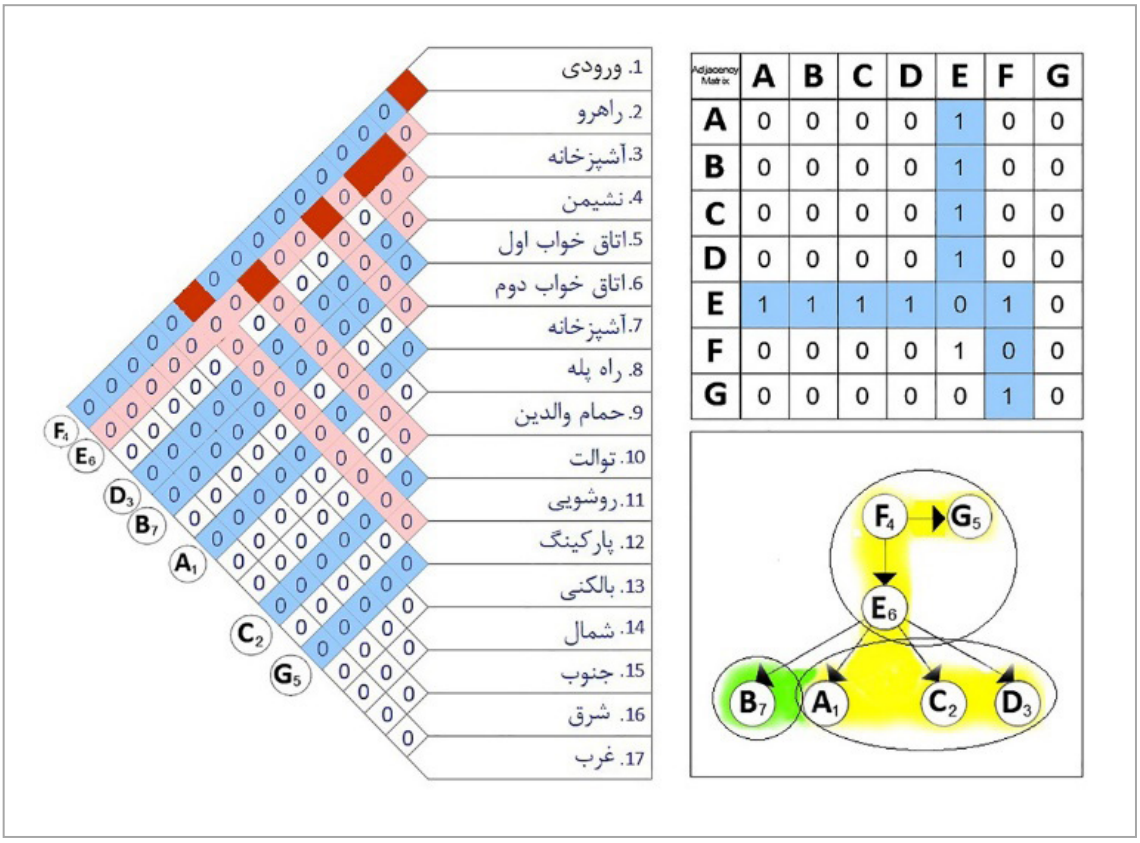
در حقیقت مسئله اصلی معماری و هوش مصنوعی شیوهٔ انتقال دانش به ماشین‌هاست که این دانش بر اساس تصویر۱۷ در دو ساختار: ضمنی و عینی دسته‌بندی می‌شود. ساختار دانش عینی در هوش مصنوعی از الگوریتم‌ها، کتابخانه‌ها، فرمول‌ها و زبان‌های برنامه‌نویسی پیروی می‌کند. در حقیقت در این پژوهش دانش عینی و ضمنی هوش مصنوعی و معماری در حوزه انجام تقسیمات و روابط فضایی برای انتقال دانش به ماشین‌ها انتخاب شده است. این فرایند از طریق اعمال فرمول، ضوابط و تکنیک‌هایی همچون ماتریس هم‌جواری صورت می‌پذیرد؛ یعنی فضاهایی که نسبت به هم هم‌جوار و دارای ارتباط فضایی (عمومی و خصوصی) هستند با اعداد صفر و یک علامت‌گذاری می‌شوند. برای مثال تصویر ۵ نمونه‌ای است که نشان می‌دهد، آن دسته از فضاهایی که باهم در ارتباط نیستند با عدد صفر و آن‌هایی که در ارتباط هستند با عدد یک مشخص شده‌اند. همچنین عرصه‌بندی‌های عمومی (زرد) و خصوصی (سبز) را نشان می‌دهند و بدین شکل، ماتریسی از هم‌جواری‌ها و روابط فضایی تولید شده است.

پس از این‌که ماتریس هم‌جواری ساخته شد، می‌توان فضاها را نمایه‌ای بر اساس جهت حرکت عقربه‌های ساعت



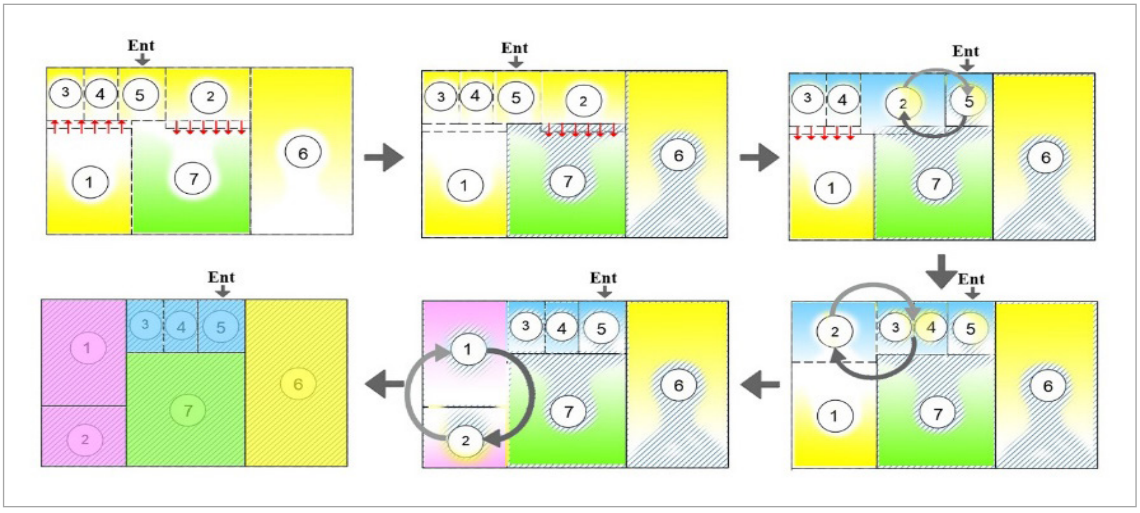
تصویر۴. نمایش فرایند تحقیق در این پژوهش (نگارندگان)

علامت‌گذاری کرد که بیانگر ترتیب اولیه قرارگیری این فضاها در تقسیمات فضایی خواهندبود. همچنین ابعاد و اندازه فضاها و مساحت این مدول‌های آماده بر اساس بردار عددی ترکیبی از نمونه پلان‌های ترسیمی و جداول استخراج شده از کتب مقررات ملی است که به فرایند محاسبات الگوریتم افزوده می‌شود. این فرایند در تصویر ۶ به‌عنوان یک نمونه، چیدمان، عرصه‌ها و مسیر جابه‌جایی فضاها در هم‌جواری را برای رسیدن به چیدمان صحیح نمایش می‌دهد. در تصویر ۶، عدد ۱ (آشپزخانه)، عدد ۲ (اتاق‌خواب)، عدد ۳ (حمام)، عدد ۴ (سرویس بهداشتی)، عدد ۵ (ورودی)، عدد ۶ (پارکینگ) و عدد ۷ (سالن پذیرائی) است که این چیدمان برای سطح اشغال ۵۶ متر با عرض ۸ متر و طول ۷ متر پیشنهاد شده



Adjacency Matrix	A	B	C	D	E	F	G
A	0	0	0	0	1	0	0
B	0	0	0	0	1	0	0
C	0	0	0	0	1	0	0
D	0	0	0	0	1	0	0
E	1	1	1	1	0	1	0
F	0	0	0	0	1	0	0
G	0	0	0	0	0	1	0

تصویر۵. ماتریس هم‌جواری و روابط فضایی (نگارندگان)



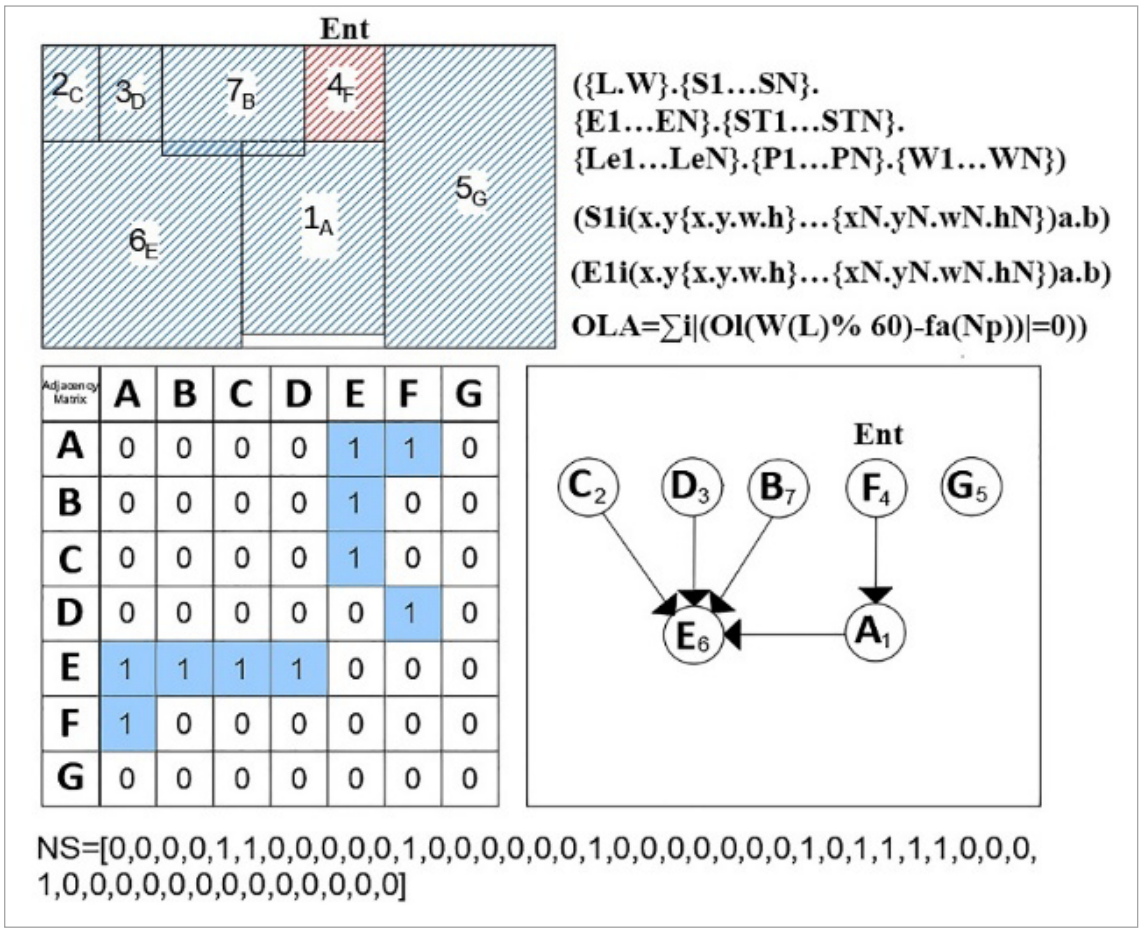
تصویر۶. کدگذاری تقسیمات فضایی در جهت عقربه‌های ساعت و جابه‌جایی فضاها (نگارندگان)

است. در اینجا جابه‌جایی بر اساس جهت حرکت عقربه‌های ساعت مدنظر است و هر بار الگوریتم، فضاها را جابه‌جا کرده و با ماتریس روابط فضایی صحیح مقایسه می‌کند و در صورت وجود اختلاف، جابه‌جایی ماژول دوباره صورت می‌پذیرد.

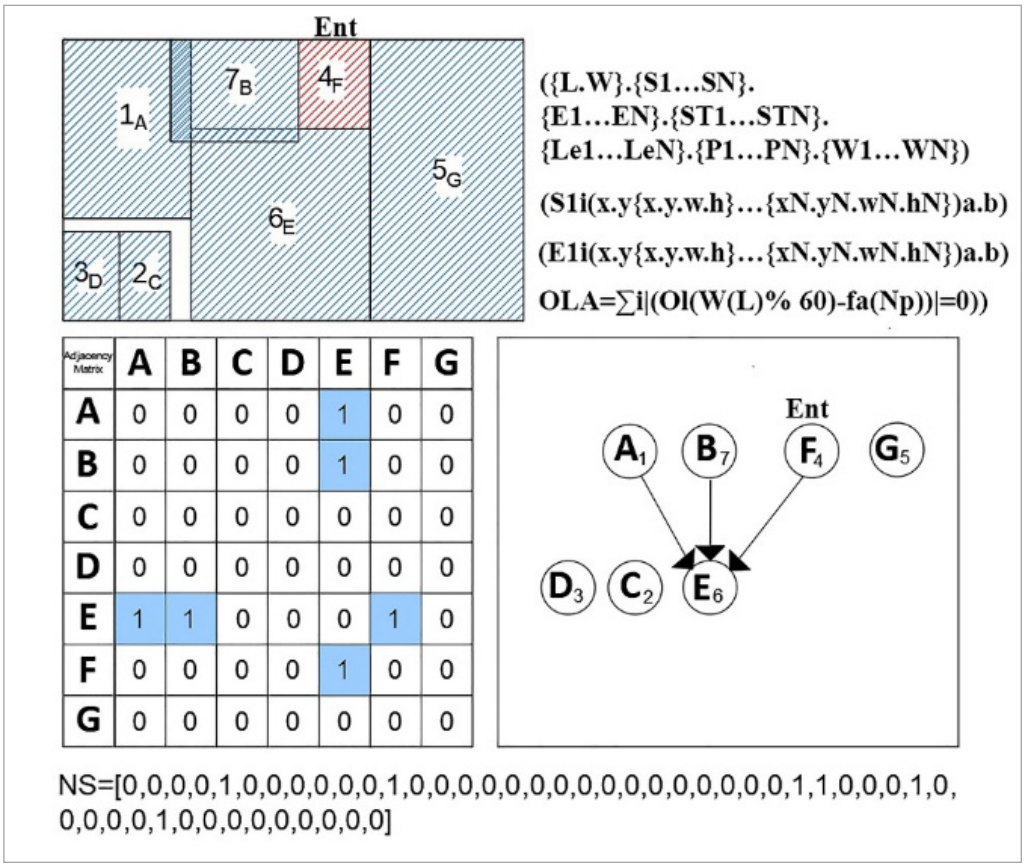
در واقع از طریق تقریب استرلینگ برای تخمین میزان تقریبی تعداد فضاهای ممکن قابل طراحی استفاده می‌شود تا خروجی آن با میزان عدد ورودی، مطابقت داده شود و سپس در ادامه به کمک جای‌گشت تمامی روش‌های ممکن برای انجام چیدمان‌های مختلف محاسبه می‌شود. در واقع جای‌گشت کمک می‌کند تا در مورد همه جزئیات دقیق بوده و سپس بر اساس فاصله کسینوسی رابطه فضایی به‌دست‌آمده که ابتدا به شکل یک ماتریس است و سپس بردار، با نمونه‌های آموزش‌دیده هوش طراحی خودکار محاسبه و در صورت وجود خطا فرایند دوباره تکرار شود.

در حقیقت هوش طراحی خودکار پلان بر اساس نمونه‌های آموزش‌دیده می‌داند که فضای شماره ۴ نمی‌تواند به‌صورت مستقیم، با فضای شماره ۱ ارتباط داشته‌باشد. برای درک این کار توسط هوش طراحی خودکار باید پلان تولیدشده به ماتریسی از روابط فضایی تبدیل و سپس به بردار یکه از اعداد صفر و یک نگاشت شود. در ادامه نمونه تولیدشده با معیار کالینز تشابه‌سنجی می‌شود و در صورت وجود اختلاف با نمونه اصلی، اصلاحات صورت می‌پذیرد.

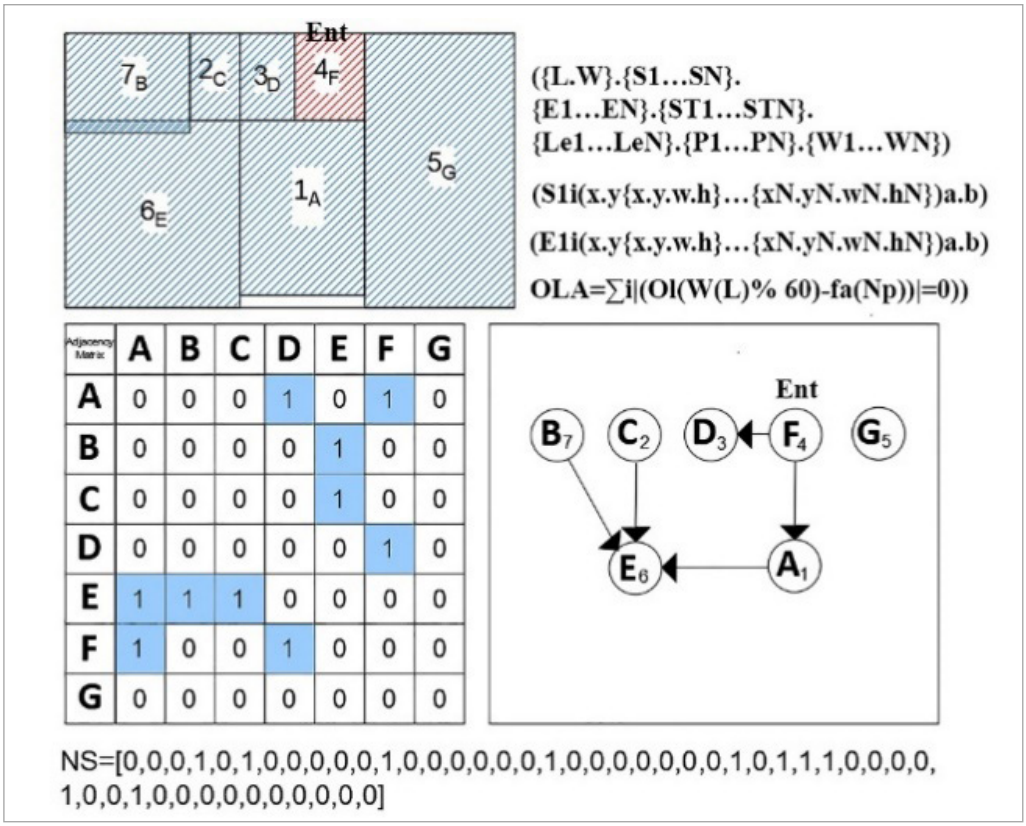
تصاویر ۷ تا ۱۱ فرایندی از تغییرات را در چیدمان فضاها و ایجاد روابط فضایی در پلان، توسط هوش طراحی خودکار بیان می‌کند و در ادامه به کمک ماتریس روابط فضاهای هم‌جوار به یک بردار با طول برابر که بر اساس ابعاد و تعداد فضاهای برابر است، خواهیم‌رسید. از طریق محاسبه فرمول کالینز در واقع تشابه و تفاضل هر بردار با بردارهای متناظر خود را مورد ارزیابی و سنجش قرار می‌دهیم. در تصویر ۱۲ می‌توان نمونه‌ای از انتخاب و جداسازی بردارهای مشابه را براساس ساختار عددی صفر و یک شده از روابط فضایی، مشاهده کرد. در این تصویر فضای NS1 با چهار فضای دیگر



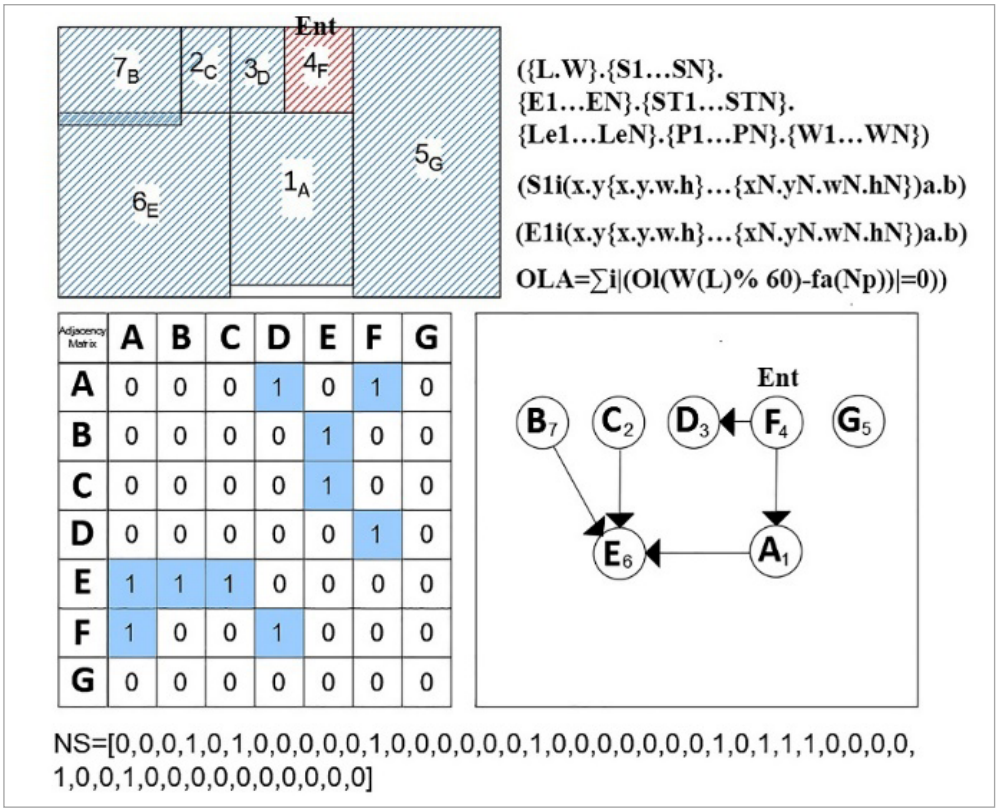
تصویر۷. تبدیل چیدمان به روابط فضایی و سپس تولید ماتریس و در نهایت خلق بُردار کدهای عددی (نگارندگان)



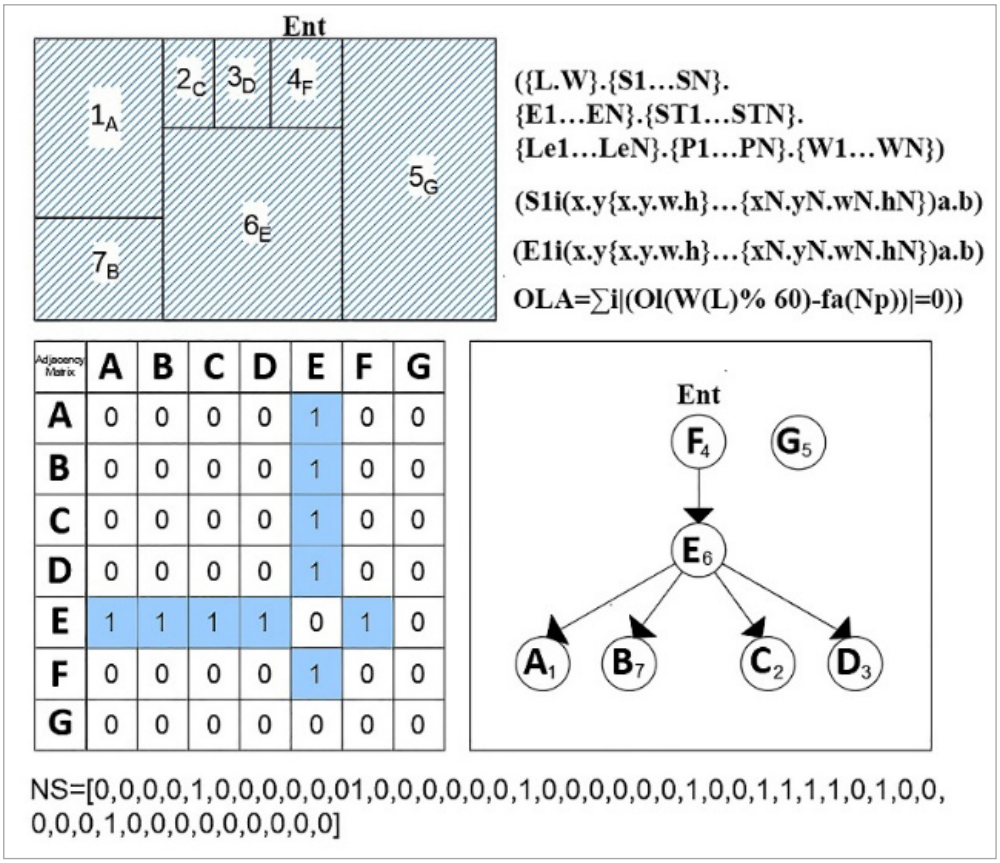
تصویر۸. جابه‌جایی کدهای عددی برای رسیدن به روابط فضایی (نگارندگان)



تصویر ۹. جابه‌جایی کدهای عددی برای رسیدن به روابط فضایی (نگارندگان)



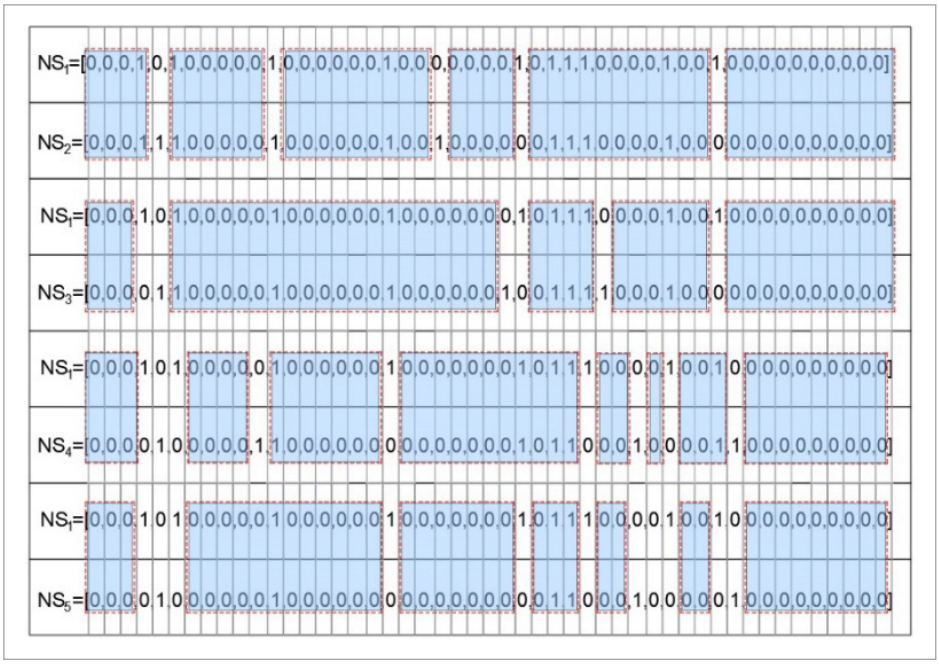
تصویر ۱۰. حرکت به سمت چیدمان با جابه‌جایی کدهای عددی (نگارندگان)



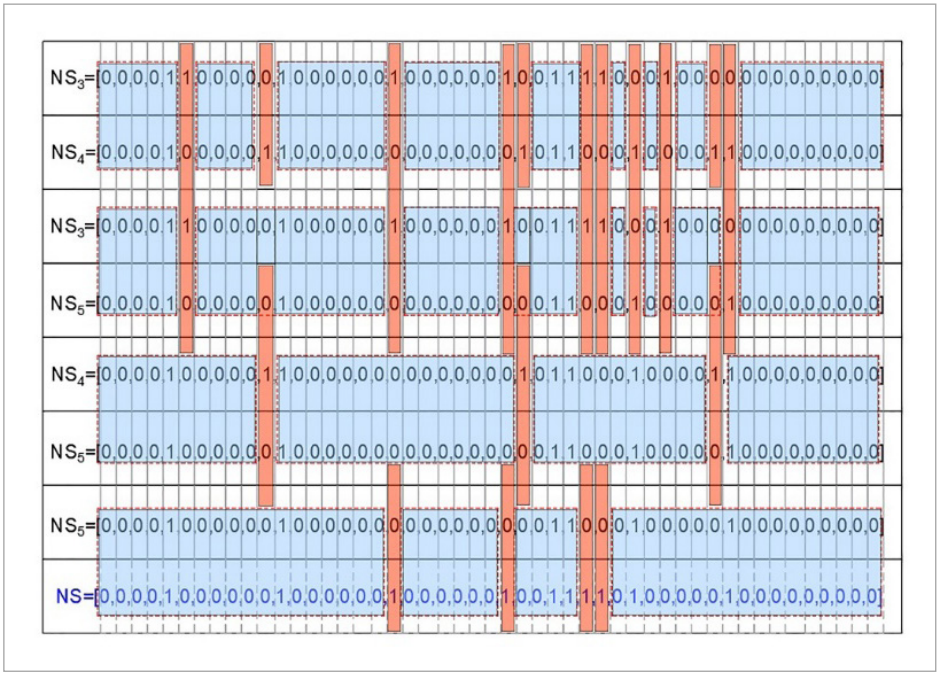
تصویر ۱۱. بهینه‌ترین حالت چیدمان روابط فضای و هم‌جواری (نگارندگان)

NS_2, NS_3, NS_4, NS_5 مورد تشابه در بردارهای نگاشت‌شده قرار می‌گیرد و در محل‌هایی که در واقع تشابه وجود دارد الگوریتم آن‌ها را از هم متمایز و درصورت وجود تشابه بالا می‌تواند نمونه روابط فضایی تولیدشده را تأیید کند و در صورت عدم تشابه، اختلاف‌ها را استخراج و حالت‌های بعدی قرارگیری بردار را تکرار کند و این فرایند تا زمان رسیدن به بردار صحیح از روابط فضایی ادامه می‌یابد.

بر اساس تصویر ۱۳ مناطق آبی‌رنگ نشان می‌دهد که در فرایند محاسبه زاویه کسینوسی بردارها این مناطق دارای شباهت بسیار هستند و مناطق قرمز دارای اختلاف در ارتباط



تصویر ۱۲. جداسازی نقاط مشترک و تشابه‌سنجی‌شده (نگارندگان)



تصویر۱۳. رسیدن به بالاترین اشتراک در بردارها با نمونه‌های صحیح آموزشی NS (نگارندگان)

فضایی هستند و برای رسیدن به اشتراک باید مناطق اختلافی که (حالت صفر و یا یک) تعداد آن در NS_3 برابر ۱۱ نقطه هستند در فرایند پردازش به‌صورت نزولی عمل کند به‌نحوی که در آخرین بردار عددی برابر با NS نهایی شود.

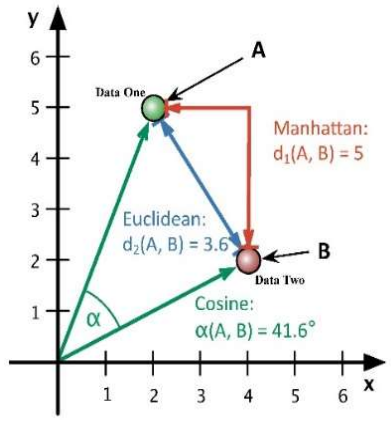
باید گفت هوش طراحی خودکار بر اساس فرمول تصویر۱۴، بردارهای تصویر۱۳ را در فضای مختصات دکارتی نگاشت کرده و سپس فاصله آن‌ها را از یکدیگر می‌سنجد. درواقع مقدار به‌دست‌آمده در بازهٔ [۱, ۱-] است که ۱- نشان‌دهنده دقیقاً مخالف، ۱ نشان‌دهنده یکی بودن و صفر نشان‌دهنده تعامد یا شباهت صفر و مقادیر بین آن‌ها بیانگر میزان شباهت و یا عدم شباهت است (Garcia,2018: 9).

برای مثال اگر NS1 برابر با بردار A باشد و NS2 برابر بردار B از ضرب A در B مختصات دریافت می‌شود که با نقاط سیاه نمایش داده می‌شود و □x,y□ مختصات بردار A و □x,y□ مختصات بردار B است. اکنون از نقطه C به نقاط A و B خطی رسم می‌شود و با روش اقلیدسی یا منهتن فاصله نقاط سنجیده خواهد شد و با نرمال کردن فاصله A و B آن را بین فاصله اقلیدسی یا منهتن تقسیم و نسبت به‌دست‌آمده کسینوس زاویه بین بردارها را تعریف می‌کند.

این درصد به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که این دو بردار که در ذات همان روابط فضایی پلان‌هاست چه میزان به هم شباهت و یا عدم شباهت دارند و این فرایند تا زمانی تکرار می‌شودکه کسینوس زاویه بین بردارها برابر صفر شود؛ یعنی چیدمان صحیح از فضاها توسط ماشین براساس ضوابط و نمونه‌های آموزشی ارائه شود.

در حقیقت همان‌گونه که در ابتدای بحث اشاره شد، یکی از مسائل اصلی در معماری و هوش مصنوعی شیوه انتقال دانش طراحی و ایجاد روابط فضایی به ماشین‌هاست که شیوه ارائه‌شده در این پژوهش نشان می‌دهد می‌توان دانش تقسیمات و روابط فضایی را از طریق این تکنیک به ماشین‌های هوشمند انتقال داد که نمونه‌هایی از آن براساس تصاویر ۱۵،۱۶ قابل‌مشاهده است. البته باید به این نکته اشاره کرد که این گام ابتدایی است و با توسعه تکنیک و افزایش نمونه‌ها و اعمال ضوابط و مقررات بیشتر نمونه‌های کامل‌تری می‌توان ارائه داد.

در جمع‌بندی نهایی باید گفت که معماری و هوش مصنوعی دو حوزه دانشی وسیع و در حال گسترش هستند که به‌واسطهٔ فرایندهای مدیریت دانش این امکان وجود دارد که ساختار دانش ضمنی و صریح آن در جهت کاربست و پیاده‌سازی فرایندهای معماری در ماشین‌های هوشمند از طریق الگوریتم‌های هوش مصنوعی با یکدیگر ترکیب شود. در حقیقت دانش صریح در معماری می‌تواند شامل کتب، مقررات ملی، استانداردها و ضوابط مرتبط با طراحی، نظارت و یا اجرا باشد و معادل همین ساختار دانش صریح در هوش مصنوعی متشکل از زبان‌های برنامه‌نویسی سطح بالا، الگوریتم‌های مختلف (تکاملی، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق)، کتابخانه‌ها و فرمول‌های محاسباتی است که می‌تواند در جهت ترکیب با دانش صریح معماری به کار گرفته شود. همچنین دانش ضمنی در این فرایند تجربه معماران در پروژه‌های مختلف است که توسط معماران میان‌رشته‌ای با تکنیک‌های ابداعی به ماشین‌ها انتقال داده خواهدشد. بر همین اساس تصویر ۱۷ چهارچوب نظری از فرایند انتقال دانش ضمنی و عینی را به ماشین‌ها نمایش می‌دهد.

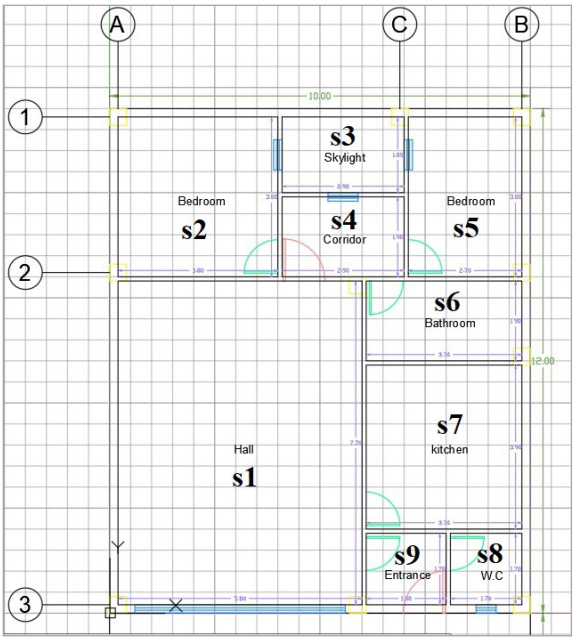


$$similarity(A,B) = \frac{A \cdot B}{\|A\| \times \|B\|} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i \times B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} A_i^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{n} B_i^2}}$$

$$\text{Cos}\theta$$

$$A \bullet B = x1 * x2 + y1 * y2$$
$$d_{AC} = ((x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2)^{1/2} = (x_1^2 + y_1^2)^{1/2}$$
$$d_{BC} = ((x_2 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2)^{1/2} = (x_2^2 + y_2^2)$$

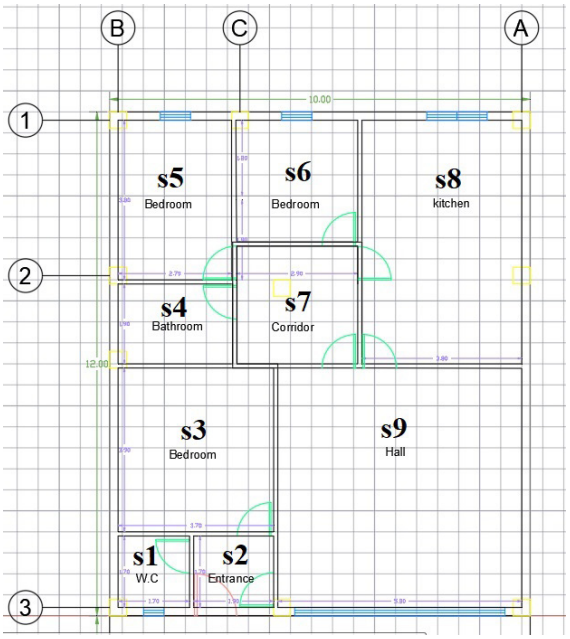
تصویر۱۴. نحوه محاسبه رابطه فاصله‌سنجی کسینوسی (نگارندگان)



Design 1=

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9
S_1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
S_2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
S_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_4	1	0	0	0	1	0	0	0	0
S_5	0	0	0	1	0	0	0	0	0
S_6	0	0	0	1	0	0	0	0	0
S_7	1	0	0	0	0	0	0	0	0
S_8	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S_9	1	0	0	0	0	0	0	1	0

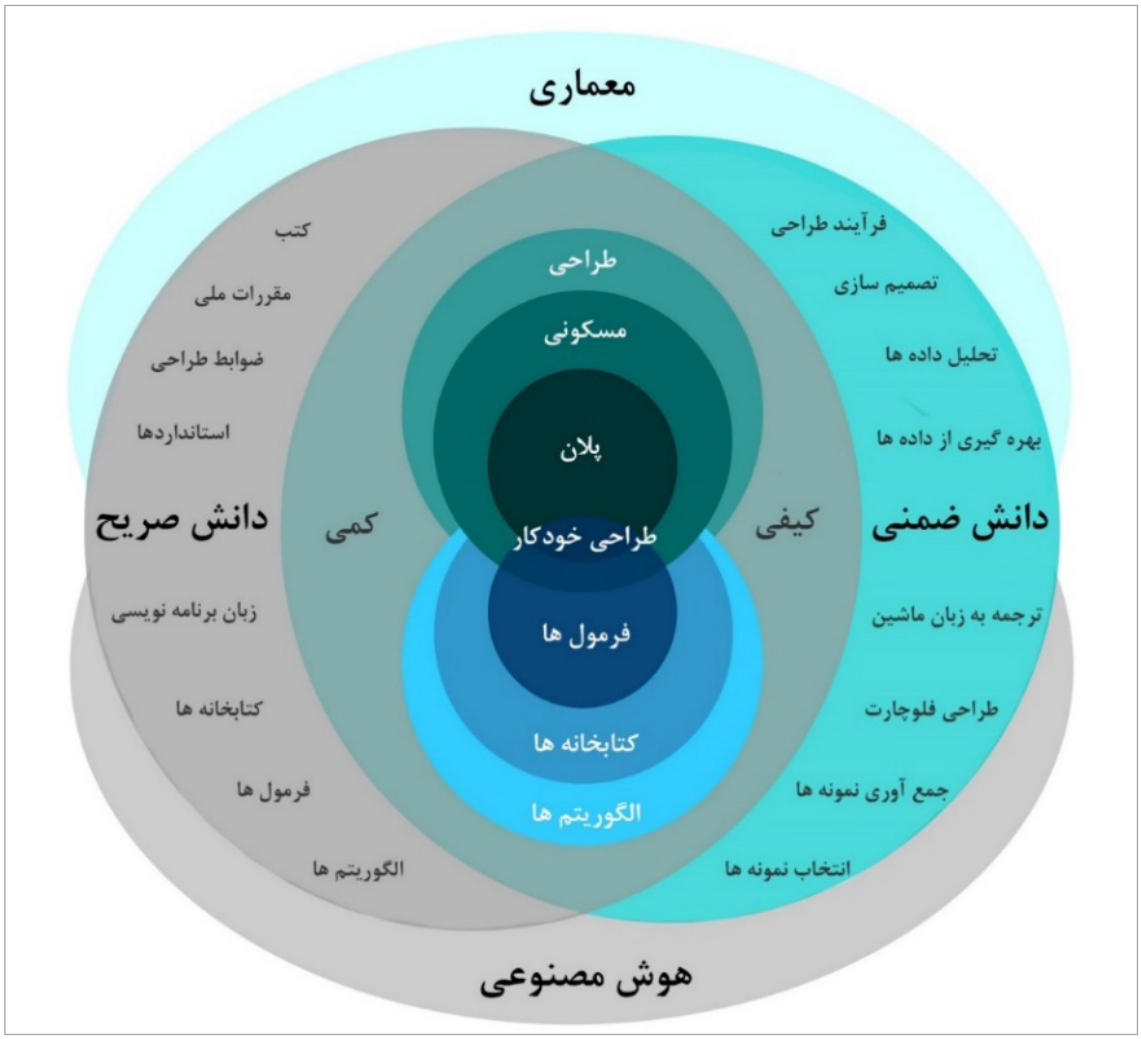
تصویر۱۵. نمونه ماتریس روابط فضایی و پلان طراحی‌شده توسط هوش طراحی خودکار پلان (نگارندگان)



Design2=

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9
S_1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
S_2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S_3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
S_4	0	0	0	0	0	0	1	0	0
S_5	0	0	0	0	0	0	1	0	0
S_6	0	0	0	0	0	0	1	0	0
S_7	0	0	0	1	1	1	0	1	1
S_8	0	0	0	0	0	0	1	0	1
S_9	0	1	0	0	0	0	1	1	0

تصویر۱۶. نمونه ماتریس روابط فضایی و پلان طراحی‌شده توسط هوش طراحی خودکار پلان (نگارندگان)

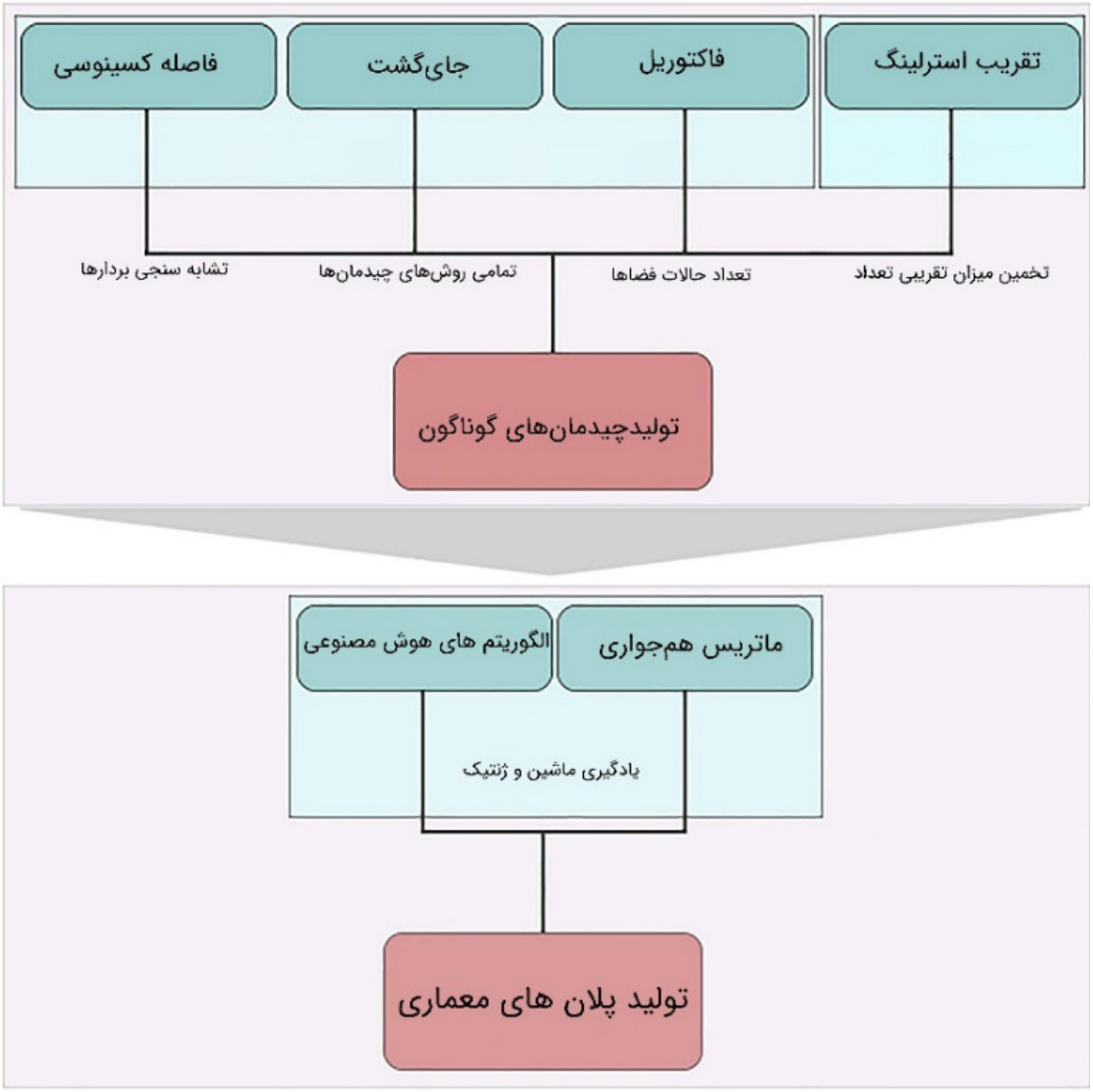


تصویر۱۷. فرایند چهارچوب نظری هوش طراحی خودکار (نگارندگان)

نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش ارائه مدل نظری و عملی از نحوه یادگیری ماشین از داده‌های روابط فضایی است که نتایج آن نشان می‌دهد برای انتقال دانش معماری در بخش روابط فضایی باید ابتدا ماتریس هم‌جواری از روابط فضایی موجود در نمونه پلان‌های معماری ایجاد کرد و سپس از طریق تلفیقی از شیوه‌ها و تکنیک‌های مختلف، فرمول‌های محاسباتی (تقریب استرلینگ، فاکتوریل، جای‌گشت و فاصله‌سنجی زاویه کسینوسی) فرایند آموزش را به ماشین‌ها انتقال داد. در این روش، تقریب استرلینگ برای تخمین میزان تقریبی تعداد روابط فضایی قابل‌ارائه در پلان‌های مسکونی استفاده می‌شود. همچنین به کمک جای‌گشت تمامی روش‌های ممکن برای انجام چیدمان‌های مختلف قابل محاسبه است. سپس براساس فاصله کسینوسی رابطه فضایی به‌دست‌آمده که به شکل یک ماتریس است با نمونه‌های آموزش‌دیده هوش طراحی خودکار محاسبه و در صورت وجود خطا فرایند دوباره تکرار می‌شود. اما بر اساس فرضیه پژوهش، برای رسیدن به این امر نیاز به استفاده از ماتریس‌های هم‌جواری، فرمول‌های محاسباتی و الگوریتم‌های متنوع برای ادراک و تولید روابط فضایی است. در واقع یافته‌ها نشان می‌دهند با تبدیل روابط فضایی پلان‌ها به ماتریس‌های هم‌جواری و سپس به بردارهای عددی و استفاده از فرمول‌های ریاضی، می‌توان میزان شباهت یا عدم شباهت روابط فضایی پلان‌ها را برآورد و بر همین اساس اختلاف چیدمان فضاها را محاسبه و چیدمان صحیح

را پیشنهاد کرد. همچنین برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود در پژوهشی دیگر به مسئله فرایند ایجاد ادراک و تشخیص پلان‌های معماری بر اساس داده‌های ورودی از کاربر در ماشین‌ها پرداخته شود.



تصویر۱۸. تبیین مدلی از فرایند تولید پلان مبتنی بر روش‌های محاسباتی و هوش مصنوعی (نگارندگان)

منابع و مآخذ

- فرهادی، مرضیه و جمزاده، منصور (۱۳۹۶). بررسی معیارهای شباهت در بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا. *علوم رایانشی*. سال دوم، (ش۷)، ۲۵-۱۳.
- باباخانی، رضا؛ شاهچراغی، آزاده و ذبیحی، حسین (۱۴۰۱). تبیین مدل نظری عملکرد هوش طراحی خودکار در فرایند چیدمان فضاها با رویکرد سلسله‌مراتبی و تقسیمات منطقه‌ای. *مرمت و معماری*. سال دوازدهم، (ش۳۱)، ۵.
- _____ (۱۴۰۱). "مدل نظری و عملی هوش طراحی خودکار پلان ساختمان‌های مسکونی نمونه مطالعاتی شهر تهران". رساله دکتری، معماری، تهران: دانشگاه علوم و تحقیقات.

- Balachandran, S. & Koroth, S. (2011). A Study on Hierarchical Floorplans of Order k. Published Computer Science, *MathematicArXiv*, 2 (3), 33-38.
- Chen,T. C. Chang, Y,W. (2000). **Floorplanning**. National Taiwan University, Taipei, Taiwan.)
- School of Electrical and Computer Engineering. Georgia Institute of Technology.
- _____ (2010). Floorplanning. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 2 (103), 173-186.
- Baybars,I.& Eastman, C.M. (1980). Enumerating architectural arrangements by generating their underlying graphs. *Environment and Planning,*7 (5), 289-310.
- Chaillou,S. (2019). *degree of Doctor of Philosophy* ,Harvard GSD. 9 (3), 40-53.
- Flemming,U. (1978). **Representation and generation of rectangular dissections**, Conference Paper , DOI: 10.1109/DAC.1978.1585160. Source: IEEE Xplore.
- Garcia, E. (2018). Cosine Similarity Tutorial. *independent scientist*, 8 (2), 8-26.
- Huang,W.& Zheng, H.(2018). **Architectural Drawings Recognition and Generation through Machine Learning**, Conference Paper.
- Leea, K.Y.; Rohb,M.I.& Jeongb, H.S. (2005). An improved genetic algorithm for multi-&oor facility layout problems having inner structure walls and passages, *Computers & Operations Research* ,10 (5), 879-899.
- Marson, F.& Raupp, S. (2010). Musse Automatic Real-Time Generation of Floor Plans Based on Squarified Treemaps. *Algorithm International Journal of Computer Games Technology* ,10 (62), 74-88.
- Mitchell, W .(1974). Techniques of automated design in architecture: A survey and evaluation,*School of Architecture and Urban Planning,* University of California, Los Angeles, U.S.A , 6 (4), 10-15.
- Murata,T. & Ishibuchi,H. (1995). "MOGA: multi-objective genetic algorithms," in Evolutionary Computation, IEEE International Conference on Vol. 1, p. 289.
- _____ . (1975). The theoretical foundations of computer-aided design, Environ. *Plann. B. Urban Anal*. City Sci. 2 (2) , 127–150.
- Roth, J.; Hashimshony, R.& Wachman, A. (1985). Generating layouts with non-convex envelopes. *Building and Environment*, 20 (4), 211-219.
- Rodrigues,J. F. (2015). **Development of an algorithm which generates functional floor plans for residential buildings based on modular construction**, Dissertation submitted for the degree of Master of Civil Engineering in Structural Mechanics. Coimbra.
- Newman, E I. (1966). A method of estimating the total length of root in a sample. J. Appl. Dept. Botany, Journal of Applied Ecology. l (3)139-145.
- Newman, J. E, Gorenstein, E. E., & Kelsey, J. E. (1983). Failure to delay gratification following septal lesions in rats: Implications for an animal model of disinhibitory. *Personality and Individual Differences*, 4(14), 147-156.
- Rodrigues, E. e. (2014). **Automated Floor Plan Design: Generation, Simulation**, degree of Doctor of Philosophy Optimization Submitted to the Department of Mechanical Engineering in partial fulfillment of the requirements.
- Shia,F.; Somana,R.K.; Hand,J.& Whyte,J.K. (2020). Addressing adjacency constraints in rectangular floor plans using Monte-Carlo Tree Search, *Automation in Construction*,30(8), 879-899.

- Stacey, M. (2017). Ruales Algorithms at the Service of Social Housing Example of Jose Duarte's discursive, *Automation in Construction*. 19 (3), 79-89.
- Shen, Z.C. (2003). Mosaic, and General Floorplans, IEEE TRANSACTIONS ON *Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 22 (10), 66-45.
- Valenzuela, Christine L. (2000). (Mumford)1 and Pearl Y. Wang A **Genetic Algorithm for VLSI Floorplanning**, Conference Paper .
- Velosoa, P.; Celanib,G.& Scheerenc, R .(2018). From the generation of layouts to the production of construction documents: An application in the customization of apartment plans *Automation in Construction* , 16 (8), 224-235.
- Thorndike, E. (1931). Human Learning. *Digital Library of India Item*, 3 (8), 24-35.
- Sutanthavibul,S. Shragowitz,E. Rosen,J. (1990). **An Analytical Approach to Floorplan Design and Optimization**. Conference: Proceedings of the 27th ACM/IEEE Design Automation Conference.
- Wong ,D. H. Sivasithamparam ,K. Barbetti,M. J. (1986). **Soil-Behaviour of Phytophthora clandestine.** Australia, Journal of phytopathology**.**

Received: 2021/10/01
Accepted: 2022/09/24

The Machine Learning Process in Applying Spatial Relations of Residential Plans based on Samples and Adjacency Matrix

Reza Babakhani* **Azadeh Shahcheraghi**** **Hossein Zabihi*****

Abstract

The current world is moving towards the development of hardware or software presence of artificial intelligence in all fields of human work, and architecture is no exception. As such, this research seeks to present a theoretical and practical model of intuitive design intelligence that shows the problem of learning layout and spatial relationships to artificial intelligence algorithms. Therefore, the question of this research is to present a theoretical and practical model through the integration of computational methods for machine learning to apply spatial relationships in residential plans based on architectural criteria and standards. The problem of this study is to identify the precise methods and techniques of applying spatial relationships to architectural plans through artificial intelligence algorithms based on architectural criteria, which should be applied by automatic design intelligence in machine perception and then in the design process. Furthermore, the hypothesis of the research shows that to achieve this, it is necessary to use adjacency matrices, calculation formulas, and various algorithms for the perception and production of spatial relationships. Hence, the research method is explanatory in order to examine and transfer complex ideas and information based on data collection, including library studies, documents, educational samples, calculations, and mathematical formulas. The explanatory method seeks to present new knowledge, describe a process, or develop a concept. As the results of the research show, instead of randomly starting plan generation through evolutionary algorithms, spatial relations in architectural plans can be done faster and more accurately by combining adjacency matrices, and computational formulas with evolutionary algorithms.

Keywords: Artificial intelligence, Automatic design, Spatial relations.

* PhD in Architecture, Department of Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *reza.babakhani@srbiau.ac.ir*

** PhD in Architecture, Associate Professor, Department of Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *a.shahcheraghi@gmail.com*

***PhD in Urban Development, Associate Professor, Department of Urban Development, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *h.Zabihi@srbiau.ac.ir*